

Определение толщины диэлектрических пленок на основе эффекта электросмачивания

Артемяева Ксения Валерьевна

Махмуд-Ахунов Марат Юсупович

Ульяновский государственный университет

Махмуд-Ахунов Марат Юсупович

kuznecova-kseniya@mail.ru

Явление электросмачивания на диэлектрике в настоящее время находит широкое практическое применение в различных областях науки и техники. Например, в качестве угловых отражателей, дисплеев, микрофлюидных систем типа лабораторий на чипе и т.п. [1, 2]

В данной работе исследовано практическое применение эффекта электросмачивания на диэлектрике, заключающееся в определении толщин диэлектрических пленок. Такой метод основан на параболической зависимости краевого угла смачивания капли жидкости на поверхности диэлектрической пленки от прикладываемого напряжения.

Краевой угол зависит от сил поверхностного натяжения каждой из фаз «жидкость-твёрдое тело-газ», которые действуют на линии контакта и, компенсируя друг друга, приводят к равновесному состоянию, которое описывается уравнением Юнга:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{ТГ} - \sigma_{ЖТ}}{\sigma_{ЖГ}} \quad (1)$$

Где $\sigma_{ТГ}$, $\sigma_{ЖТ}$, $\sigma_{ЖГ}$ – поверхностное натяжение на границе твёрдая поверхность–газ, твёрдая поверхность–жидкость и жидкость–газ соответственно.

При подаче напряжения dU на границе раздела твердое тело–жидкость (рис. 1) происходит перезарядка двойного электрического слоя, состоящего, с одной стороны, из ионов на поверхности твердого тела и слоя противоположно заряженных ионов на поверхности жидкости, с другой стороны. В результате происходит уменьшение межфазного натяжения $\sigma_{ЖТ}$ [3].

Предположив, что противоионы все расположены на фиксированном расстоянии $d_{Г}$ от поверхности (слой Гельмгольца), получаем:

$$\sigma_{ЖТ} = \sigma_{ЖТ}^0 - \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{2d_{Г}} (U - U_0)^2 \quad (2)$$

где U_0 – потенциал нулевого заряда; $\sigma_{ЖТ}^0$ – межфазное натяжение при $U = U_0$.

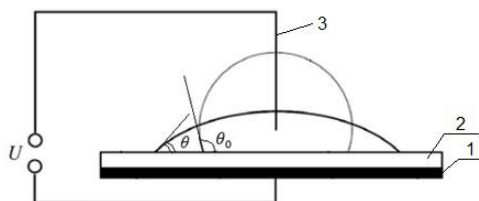


рис. 1. Изменение геометрии капли жидкости, расположенной на металлической подложке (1), покрытой слоем гидрофобного диэлектрика (2) толщиной d . Внешнее напряжение U подается между подложкой (1) и проволоочным электродом (3)

Представленные уравнения применимы только в диапазоне напряжения ниже начала электролитических процессов (как правило, до нескольких сотен милливольт).

На практике граничащее с жидкостью твердое тело является диэлектриком, толщина которого намного превышает $d_{Г}$. Тогда рассматриваемая структура может быть представлена как система из последовательно соединенных конденсаторов, результирующая емкость которых определяется наименьшей емкостью – диэлектрическим слоем. Это дает право принимать жидкость как идеальный проводник (проникновением электрического поля в каплю пренебрегаем). В результате падение напряжения преобладает в диэлектрическом слое. Тогда, выражение (2) с учетом всех поправок и уравнения (1) принимает следующий вид:

$$\cos \theta = \cos \theta_0 + \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{2d\sigma_{ЖГ}} U^2 \quad (3)$$

где θ_0 – стационарный угол смачивания при $U = U_0$. Здесь предполагается, что спонтанного накопления заряда не происходит, то есть $U_0 = 0$ [4].

При построении зависимости (3) в координатах $\cos\theta(U^2)$ начальный участок кривой является прямой линией, угловой коэффициент k которой:

$$k = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2d\sigma_{жг}} \quad (4)$$

Экспериментально полученная зависимость $\cos\theta(U^2)$ изображена на рис.2. Для диэлектрической пленки тефлона (AF 400S2-100-1 фирмы DuPont) на поверхности проводящей подложки, нанесенной методом центрифугирования, зависимость близка к теоретической, что говорит о верности представленных суждений.

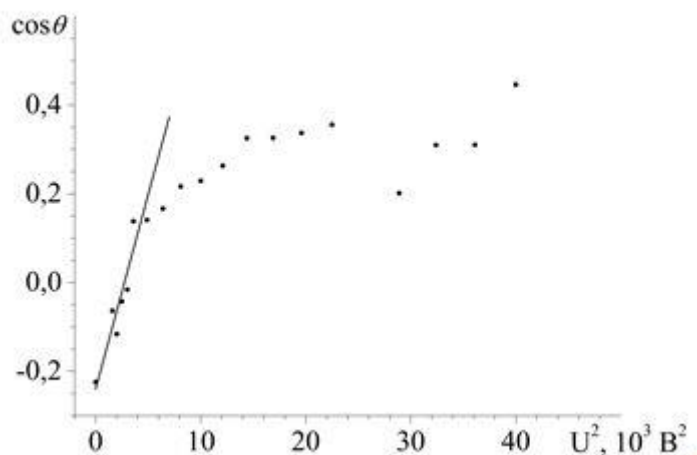


рис. 2. Экспериментальная зависимость уравнения (3), снятая на диэлектрической пленке тефлона. Сплошной линией изображена аппроксимация начального участка прямой.

По угловому коэффициенту (4) прямой, изображенной на рис. 2, была определена толщина диэлектрического слоя тефлона $d = 1.48 \pm 0.31$ мкм. Эта же величина была определена интерференционным методом: $d_{\text{инт}} = 1.50 \pm 0.29$ мкм. Видно, что полученные результаты коррелируют.

Таким образом, эффект электросмачивания на диэлектрике имеет перспективное практическое применение в качестве неразрушающего контроля толщины непроводящих пленок.

Список публикаций:

- [1] J.Heikenfeld, A. J.Steckl // Intense switchable fluorescence in light wave coupled electrowetting devices, *Applied Physics Letters*. 2005. V. 86. P. 011105.
- [2] S. Kwon Cho, H. Moon, C. J. Kim // *Microelectromech. J. Syst.* 2003.
- [3] K. Mishra, D. van den Ende, F. Mugele // *Micromachines*. 2016. V. 7. № 102. P. 1-24.
- [4] F.Mugele and J-Ch.Baret // *Electrowetting: from basic to application*, *J. Phys.: Condens. Matter* 17 2005 R705–R774.

Локальное переключение в субмикронных полимерных пленках

Байгутлин Закир Хамзаевич

Бакирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Корнилов Виктор Михайлович, д.ф.-м.н.

Baigutlin.zakir@yandex.ru

Работа посвящена экспериментальному исследованию локального резистивного переключения в субмикронных полимерных пленках.

Ранее было установлено, что при кратковременном облучении полимерной пленки на плоской кремниевой подложке ионами с энергией 4-6 кэВ возникает самоподдерживающаяся электронная эмиссия. Это свидетельствует об эффективном переносе электронов сквозь пленку, причем эмиссия происходит из отдельных центров. В связи с этим, была поставлена задача разработки и использования методики инициации электронной эмиссии для создания и исследования отдельных электропроводящих каналов в полимерной пленке субмикронной толщины. Схема экспериментальной ячейки приведена на рис.1(а). Электрофизические измерения проводились в условиях высокого вакуума, для ограничения величины максимального тока в момент